

Exposition gegenüber künstlichen Mineralfasern

Versuch einer Zusammenfassung der verfügbaren Informationen zu möglichen Gesundheitsrisiken

P. Class, R. C. Brown

1 Einleitung

1997 hat die Europäische Kommission nach mehr als zehnjähriger Diskussion eine Richtlinie verabschiedet, mit der die künstlich hergestellten glasigen (Silikat-)Fasern als krebs-erzeugend und die Mineralwollen (Glaswolle, Steinwolle, Schlackenwolle, Hochtemperaturglasfasern) als krebsverdächtig eingestuft wurden. Die Dauer der Diskussionen spiegelt die Schwierigkeiten wider, zu einer Entscheidung zu gelangen, die von vielen, einschließlich zumindest eines Mitgliedstaates, als nur wenig vollkommen angesehen wird. So ist ungewöhnlicherweise für 2002 eine Überprüfung der Richtlinie vorgesehen. Industrie und Mitgliedstaaten haben sich darauf verständigt, bis zu diesem Zeitpunkt Fortschritte bei der Reduzierung von Tierversuchen zu machen und die Methoden zur Fasereinstufung zu verbessern. Zweck der vorliegenden Untersuchung ist es, die relative Bedeutung und Komplexität der verschiedenen Faktoren, wie Charakteristika der Exposition, Faserdimensionen und Biobeständigkeit, die alle die Auswirkung von Fasern auf die Lunge verändern können, aufzuzeigen.

Jahrzehntelang wurde befürchtet, dass andere Fasern als die gemeinhin unter dem Namen „Asbest“ bekannten Fasermineralien beim Menschen Lungenerkrankungen auslösen könnten. Es wurde entdeckt, dass ein Mineralstoff, der kein Asbest enthält, nämlich faseriges Zeolith (Erionith), endemische Mesotheliome in mehreren Dörfern in der Türkei hervorgerufen hat. Um deshalb sicherzustellen, dass sich die traumatische Erfahrung mit Asbest nicht wiederholen würde, wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Auswirkungen der Mineralfasern sowohl in vitro und in Tierversuchen als auch in epidemiologischen Studien an exponierten Personen zu untersuchen. Trotz der seit Jahrzehnten andauernden Forschung war bislang keine Studie in der Lage, den oder die Wirkungsmechanismen von Asbest endgültig aufzuklären. Jedoch wurden Fortschritte bei der Entwicklung neuer Methoden zur Überprüfung der verschiedenen möglichen Faktoren, die zur Entwicklung von Fibrose und Krebs – verursacht durch das Einatmen von Fasern – führen, gemacht. Wissenschaftler und Überwachungsbehörden sind dabei zu der Überzeugung gelangt, dass es sich hierbei um eine äußerst komplexe Materie handelt.

2 Einfluss der Faserdosis

Eine der Fragen zur Ursache der mit Asbest in Zusammenhang stehenden Erkrankungen war, ob die Gefährlichkeit der Asbestfasern auf ihrer spezifischen faserigen Form, auf bestimmten chemischen Eigenschaften oder etwa auf einer Ver-

Zusammenfassung Die mit Asbestexpositionen in Verbindung stehenden Berufskrankheiten haben Industrie und Überwachungsbehörden dahingehend sensibilisiert, von künstlichen Mineralfasern könnte ein ähnliches Gefahrenpotenzial ausgehen. Die Faserindustrie hat hierzu eine Vielzahl von Forschungsvorhaben einschließlich mehrerer Tierversuche und epidemiologischer Untersuchungen initiiert. In der umfassendsten Tierversuchsreihe verursachten Keramikfasern (RCF, refractory ceramic fibres) Lungentumoren und Mesotheliome und in einigen Fällen Fibrose. Schlüsselfaktoren bei der Bestimmung des von künstlichen Mineralfasern ausgehenden Risikos sind Größe und Menge der Fasern, die in die Lunge gelangen, sowie deren Fähigkeit, sich im Gewebe festzusetzen. Eine wichtige Ursache für die Krankheitsentstehung im Tierversuch stellten die im Faserstaub vorhandenen nicht faserigen Partikeln dar. Zur Auswertung von Tierexpositionen hat man jedoch die nicht faserförmigen Staubbestandteile nicht beachtet. Sie waren nur bei sehr hohen Dosen von Bedeutung, da sie dann die Reinigung der Lunge behinderten. Neuerdings wurden standardisierte Tests zur Bestimmung der Biobeständigkeit von Fasern entwickelt, die von den Überwachungsbehörden anerkannt werden. Es werden zwar gegenwärtig Fasern hergestellt, die weniger biobeständig sind, eine Expositionskontrolle ist jedoch zum Zwecke einer sicheren Verwendung von zentraler Bedeutung.

Exposure to man-made mineral fibres – an attempt to summarise the available information on potential health risks

Abstract Asbestos associated occupational diseases sensitised both industry and regulators to the possibility that man-made mineral fibres could have a similar risk potential. The RCF industry has initiated a great deal of research including several animal studies and epidemiological surveys. In the largest series of animal experiments RCF produced lung and mesothelial tumours and some fibrosis. The key factors determining any risk from man-made mineral fibres are the size and number of fibres reaching the lung, and their ability to persist in tissue. An important reason for the disease in the RCF animal studies were non-fibrous particles in the dust. However, for the quantification of animal exposure the non-fibrous particles had been ignored; they were only of importance at very high doses inhibiting the clearance of the lungs. Recently standardised tests for determining the biopersistence of fibres have been developed and have regulatory status. Less persistent fibres are being manufactured but the control of exposure is still central to the safe use of fibrous materials.

reinigung mit organischen Materialien beruht. Arbeitnehmer, die Asbest ausgesetzt waren, zeigten pathologische Muster, die sich deutlich von denen unterschieden, die durch die Exposition gegenüber kompakten (nicht faserigen) Partikeln, wie beispielsweise Quarz, hervorgerufen werden. Dies deutet darauf hin, dass Fasern einige einzigartige pathogene Eigenschaften besitzen. Tatsächlich zeigten in den 30er Jahren durchgeführte Tierversuche, dass die Fasermorphologie ausschlaggebend für die toxikologische Aktivität war. Wurde Asbest derart zerkleinert, dass er aus sehr kurzen Fasern und nicht faserigen Partikeln bestand, ging die pathogene Aktivität größtenteils verloren.

Verschiedene Methoden zur Messung der Staubexposition wurden entwickelt, so z. B. durch Wiegen des Staubes, der in oder auf Filtern gesammelt wurde, durch Nutzung von Nuklea-

Philip Class,
Thermal Ceramics de France, Wissembourg, Frankreich.
R. C. Brown,
Toxicological Services Uppingham, Großbritannien.

tionszentren zur Kondensation des Staubes oder durch Niederschlagen des Staubes auf einem Objektträger, auf dem die Partikeln gezählt wurden. In der Bestimmung der einatembaren Partikeln, die dann in den verschiedenen Teilen der Atemwege abgelagert werden, wurden Fortschritte gemacht. Größenselektive Messeinrichtungen zur Messung der Anteile des einatembaren und lungengängigen (alveolaren) Staubes wurden entwickelt. Die Messung der Exposition gegenüber Asbest und anderen Faserstäuben erfordert jedoch harmonisierte Methoden zur Vereinheitlichung der Faserzählung. Daher nahm eine Reihe von Institutionen, insbesondere die Weltgesundheitsorganisation (WHO), das Standardisierungsverfahren in die Hand, um Methoden zur Bewertung und Überwachung der Faserkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz zu entwickeln und um Asbestfasern von nicht faserigen Partikeln zu unterscheiden¹⁾. Die Nutzung dieser mikroskopischen Methoden unterliegt nun einer nationalen und internationalen Qualitätskontrolle. Seitdem verwenden die Fachleute des Gesundheits- und Arbeitsschutzes die Konzentrationen der sog. WHO-Fasern (oder in den USA die ähnlichen „NIOSH“-Fasern), um Arbeitsplatzgrenzwerte festzulegen, Arbeitsplatzexpositionen zu messen und die Wirksamkeit der Überwachungsmaßnahmen zu beurteilen. Auswirkungen auf die Gesundheit werden gegenüber diesen Messungen gewöhnlich als kumulative Exposition (Konzentration multipliziert mit der Zeit – Faserjahre) bewertet, so dass diese Ergebnisse für epidemiologische Studien entscheidend sind.

3 Einfluss der Dimension der Fasern

Es ist nicht sicher, dass die WHO-Faserdefinition alle toxikologisch signifikanten Fasern umfasst. Fasern, die für Erkrankungen verantwortlich sind, könnten nur einen Teil der WHO-Fasern darstellen. Tatsächlich wurde anhand weiterer Tierversuche entdeckt, dass nicht alle diese Fasern zu gleichen Wirkungen führen. In den 70er Jahren kamen Pott [1] und Stanton [2] zu der Schlussfolgerung, dass die krebserzeugende Eigenschaft mehr mit Größe und Faserform als mit der chemischen Zusammensetzung der Faser zusammenhängt. Später fand Stanton [3] mit erheblichem Aufwand heraus, dass die größte Aktivität auf Fasern zurückzuführen ist, die mindestens 8 µm lang sind und deren Durchmesser kleiner als 1,3 µm ist. In den späten 80er Jahren wies Davis [4] darauf hin, dass lange Amositfasern nach Inhalation extrem pathogen waren, während eine Zubereitung sehr kurzer Fasern nur in sehr geringem Maß Erkrankungen hervorrief. Darüber hinaus verursachten kurze Amositfasern, die durch intraperitoneale Injektion verabreicht wurden, im Gegensatz zu langen Fasern keine Mesotheliome.

Später wurde diese Hypothese auch verwendet, um die Diskrepanz zwischen einigen epidemiologischen Studien über Arbeiter in der Asbestindustrie zu erklären, in denen Erkrankungen – im Vergleich zu anderen Studien – in viel geringerem Umfang gefunden wurden [5 bis 8]. Die Analysen der Fasergrößen alleine erlaubten es nicht, all diese Unterschiede zu erklären. Jedoch führten die Arbeiten über Fasergröße und Aktivität dazu, dass die Wissenschaftler in den 80er Jahren

den sog. „Stanton“-Typus der langen und dünnen Fasern als Maß für die Dosis in Tierversuchen verwendeten, um die Wirkungskraft der verschiedenen Fasertypen zu untersuchen. Geklärt werden sollte auch, ob die Dimension den einzigen Faktor darstellt, der bei der Bestimmung der krebserzeugenden Wirkung einer Faser zu berücksichtigen ist. Die Untersuchungen deuten darauf hin, dass nicht alle gleich geformten Fasern auch gleich aktiv sind und dass zusätzliche Faktoren berücksichtigt werden müssen. Die Wirkungsweise aller anderen Faktoren bleibt bis auf einen, nämlich die Fähigkeit einer Faser, im Gewebe von Tieren oder Menschen zu verbleiben, unbekannt.

4 Untersuchungen der Research and Consulting Company (RCC)

Die Überlegung, dass alle Fasern mit vergleichbaren geometrischen Dimensionen in der Lage zu sein schienen, Erkrankungen hervorzurufen, führte zu verstärkten Befürchtungen hinsichtlich Fasermaterialien, die nicht aus Asbest bestehen. Die Keramikfaserindustrie gehörte zu den ersten, die auf diese Befürchtungen reagierte, indem sie ein weit reichendes Forschungsprogramm durchführte. Ein groß angelegter Tierversuch in Los Alamos [9] ergab zweideutige Ergebnisse. Daher wurde eine noch größere, auf dem Stand der Technik beruhende Serie von Inhalationsstudien geplant und schließlich in den RCC-Laboratorien in der Schweiz durchgeführt. Die dafür benötigten experimentellen Faserzubereitungen mussten aus den gewerblich erhältlichen Isolationswollen gewonnen werden. Jedoch wurden die Keramikfaserproben mittels einer anderen Methode als derjenigen, die später für die Glas- und Steinwolletests im gleichen Laboratorium angewendet wurde, isoliert. In allen Fällen wurden die Fasern nach den folgenden Kriterien ausgewählt: Sie mussten fein genug sein, um von der Ratte eingeatmet werden zu können, und lang genug, um eine signifikante Aktivität aufzuweisen. Dies sollte auch sicherstellen, dass die Aerosole dem Staub in der Luft an Arbeitsplätzen, an denen mit diesen Fasern umgegangen wird, ähneln.

Ähnliche Fasergrößen mit verschiedenen Zusammensetzungen wurden getestet, und Ratten wurden einer Dosis von 200 F/ml ausgesetzt, die aufgrund einer vorläufigen Studie als die „Maximal Tolerierte Dosis“ (MTD) galt. Die Ergebnisse dieses Hochdosis-Versuchs zeigten, dass bei Ratten lediglich die Exposition gegenüber Keramikfaserproben eine signifikante Anzahl an Lungenkrebsfällen zusammen mit verschiedenen Mesotheliomen hervorrief. In einer weiteren Studie im gleichen Laboratorium wurden die Ratten mehrfachen Konzentrationen von Keramikfasern ohne jede signifikante Auswirkung ausgesetzt. Die verwendeten Konzentrationen (25 F/ml, 75 F/ml, 125 F/ml) waren geringer, aber verglichen mit den tatsächlichen Expositionen am Arbeitsplatz und Grenzwerten immer noch sehr hoch. Insgesamt könnten diese Ergebnisse auf das Vorhandensein eines Schwellenwerts oder eines „No Effect Level“ (NOEL) bei Exposition gegenüber Keramikfasern hindeuten (Bild 1).

Die Ergebnisse dieser RCC-Studien [10] wurden dazu verwendet, die verschiedenen Typen von künstlichen glasigen Silikatfasern (MMVF, man-made vitreous fibres) zu vergleichen. Die Unterschiede zwischen Keramikfasern und anderen Glasfasern führten bei einigen Wissenschaftlern zu der Auf-

¹⁾ Bei einer „WHO“-Faser ist das Verhältnis Länge/Durchmesser > 3. Eine solche Faser ist fein genug, um tief in die Lungen bis in die Alveolen (Durchmesser weniger als 3 µm) eingeatmet zu werden, und ist länger als 5 µm.

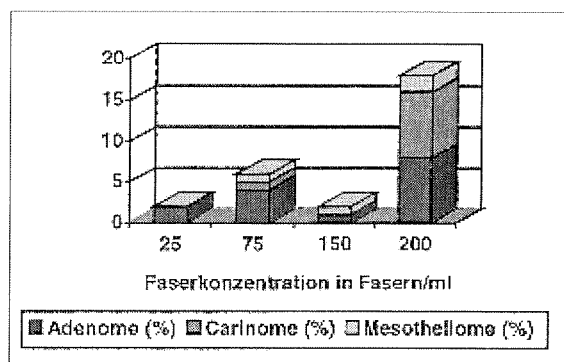


Bild 1 | RCC-Ergebnisse für maximale und Multidosis-Exposition. NOEL oder „Overload“?

fassung, dass die chemische Zusammensetzung der Fasern für die Auswirkungen der Exposition eine wesentliche Rolle spielt.

4.1 Rolle der nicht faserigen Partikeln

Die Zusammensetzung der Stäube, denen die Ratten ausgesetzt waren, wurde genauer untersucht, um zu bewerten, inwieweit die verschiedenen Fasertypen ähnlich waren. Es wurde beobachtet, dass die Beeinträchtigung der Lungenfunktion der Ratten (Anzahl der Fasern, die in der Lunge verbleiben) durch die Staubbelastung in den verschiedenen Gruppen unterschiedlich war [11].

Es stellte sich heraus, dass die Tiere, die Keramikfasern ausgesetzt waren, im Vergleich zu Tieren in anderen Expositionsgruppen nicht nur gegenüber einer viel höheren Faserkonzentration (insbesondere solcher, die länger als 20 µm sind), sondern auch gegenüber einer viel größeren Anzahl an nicht faserigen Partikeln exponiert wurden. Diese nicht faserigen Partikeln waren früher nicht berücksichtigt worden, da sie nicht der WHO-Faserdefinition entsprachen. Jedoch wurden sie offensichtlich in der Lunge deponiert und konnten somit das Reinigungssystem der Lunge beeinträchtigen. Wird die Reinigungsfähigkeit (Clearance) durch diese Partikeln oder durch andere Faktoren reduziert, dann könnte die MTD überschritten worden sein und eine Lungenüberbelastung (Overload-Effekt) bei den Tieren, die Keramikfasern ausgesetzt

waren, eingetreten sein. Unter diesen Umständen hätten die Ratten aufgrund einer teilweisen oder völligen Blockierung des natürlichen Reinigungssystems der Lungen Tumoren entwickelt.

4.2 Biobeständigkeit

In der RCC-Studie wurden einige Tiere nach kürzerer Expositionsdauer von weiteren Untersuchungen ausgenommen, und der Verlauf der Rekonvaleszenz wurde analysiert, um zu erkennen, wie schnell die Lunge von den Fasern gereinigt wird. Diese Beobachtungen bekräftigten, zusammen mit anderen Erkenntnissen, die Rolle der Biobeständigkeit – die Eigenschaft einer Faser, in der Lunge zu verbleiben – als eine zusätzliche Determinante der Faserpathogenese. Diese Studie kam damals zu der Schlussfolgerung, dass die Keramikfasern eine höhere Biobeständigkeit als die anderen getesteten Glas-, Stein- und Schlackenwollen hatten. Jedoch wurde der

erst später entdeckte Overload-Effekt zu diesem Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt. Später wurde das Verbleiben der Fasern in der Lunge untersucht und standardisierte Methoden zur Bestimmung der Biobeständigkeit entwickelt. Die Anzahl der Fasern, die einem Versuchstier zuzuführen sind, sowie die Faserdimensionen wurden dabei so genau wie möglich bestimmt. Die Schwierigkeit, den Anteil der Fasern, die für Tierversuche geeignet sind, aus den kommerziell erhältlichen Materialien herauszulösen, wurde jedoch kaum berücksichtigt. Diese bestehen meist aus sehr langen Fasern, die gebrochen werden müssen. Die meisten daraus resultierenden kürzeren Fasern sind zu dick, um von Ratten eingeatmet werden zu können, so dass eine Auswahl an feinen, von Ratten einatembaren Fasern getroffen werden muss. Typischerweise kann man aus 500 kg gekaufter Wolle höchstens 1 kg Testmaterial gewinnen.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten eine Korrelation zwischen der Biobeständigkeit und den Ergebnissen von Langzeitstudien. Die Europäische Union hat standardisierte Verfahren zur Messung der Biobeständigkeit (durch kurzzeitige Inhalation und durch intratracheale Instillation) verabschiedet, die als Methoden zur Begründung der Freizeichnung von der Einstufung als krebserzeugend, wie sie in den Rechtstexten der Europäischen Union dargelegt ist, dienen [12].

4.3 „Overload“-Effekt

Bei neueren Untersuchungen von Partikeln aus verschiedenen Materialien als Determinante der Biobeständigkeit oder der biologischen Aktivität wurde das ursprünglich in den RCC-Laboratorien untersuchte Material (RCF 1), das einen erheblichen Anteil (25 Gewichts-%) an nicht faserigen Partikeln enthielt, in Kurzzeittests mit einem anderen Aerosol (RCF 1a) verglichen, dessen Probe weniger nicht faserige Partikeln enthielt [13; 14].

Die Biobeständigkeit der Probe mit wenig nicht faserigen Partikeln (RCF 1a) betrug nur ein Drittel der Biobeständigkeit der in den RCC-Laboratorien 1986 getesteten Fasern (RCF 1) (Bild 2). Dies stützt die These, wonach die RCF-1-Probe eine Überbelastung (Overload) der Lunge hervorrief (siehe Bild 2). Darüber hinaus wurden beide Keramikfasern auch in einer dreiwöchigen Inhalationsstudie am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Aerosolforschung (ITA) in Hannover [15] untersucht. Die Ergebnisse zeigten für die Indikatorpartikeln eine erhebliche Verzögerung der Reinigung durch alveolare Makrophagen und eine andauernde Entzündung der Lungen bei Ratten, die RCF 1 – im Vergleich zu RCF 1a – ausgesetzt waren. Dies bestätigte, dass die RCC-Studie zu einer Überbelastung der Lunge geführt hatte, und sie hätte daher bei der Risikobewertung der Keramikfasern durch die Europäische Kommission oder andere Institutionen nicht berücksichtigt werden dürfen. Interessanterweise bestätigte dies auch, dass die Keramikfasern nicht selbst – so wie das bei Quarz der Fall wäre – auf den Reinigungsmechanismus wirken, sondern dass der Overload-Effekt lediglich eine physikalische Wirkung darstellt, die auf nicht faserigen Partikeln beruht.

4.4 Fehlinterpretation

In der ursprünglichen RCC-Studie wurde eine andere Gruppe Ratten Chrysotil-Asbestfasern als sog. positiver Kontrolle ausgesetzt. Chrysotil wurde ursprünglich in die Untersuchung aufgenommen, um sicherzustellen, dass das „rein nasale“ Inhalationssystem ordnungsgemäß funktionierte und

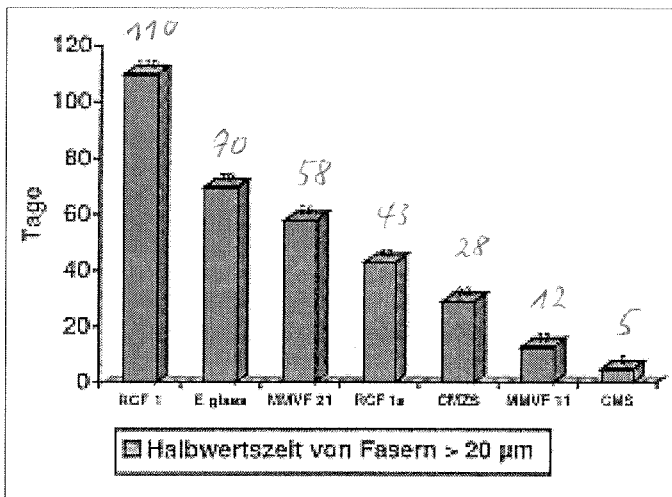


Bild 2 Biobeständigkeit nach Inhalation verschiedener Fasern.

Bei MMVF 21 handelt es sich um eine Steinwolle, die in den RCC-Laboratorien getestet wurde und keinen Einfluss auf das Auftreten von Tumoren hatte; CMZS und CMS sind sog. Calcium-Magnesium-Silikat-Fasern, die etwas Zirconium (CMZS) enthalten können. MMVF 11 ist eine ebenfalls in den RCC-Laboratorien getestete Glasfaser und ergab keinen Hinweis auf einen irreversiblen Effekt.

in der Lage war, bei Asbest positive Ergebnisse zu erzielen. Die Ergebnisse zur Tumorbildung stimmten mit früher erzielten aus anderen Untersuchungen, bei denen die Ratten gegenüber dem gleichen Material exponiert wurden, überein. Es ist jedoch wichtig anzumerken, dass sich die Größenverteilung der Chrysotilfasern deutlich von derjenigen der untersuchten künstlichen Mineralfasern unterschied. Die Chrysotilfasern waren sehr kurz (siehe **Tabelle**) und ihre Auswirkung auf die Tierlunge war aus Gründen, die bereits in den o. g. Untersuchungen dargelegt wurden, deshalb geringer als dies bei längeren Fasern – so wie bei den untersuchten künstlichen Fasern – der Fall gewesen wäre.

Im Rahmen der RCC-Studie war nicht vorgesehen, die für die Chrysotil-Asbestgruppe erhaltenen Ergebnisse mit denen der parallel getesteten künstlichen Mineralfasern zu vergleichen. Obwohl dieser Punkt klar herausgestellt wurde, wurden Versuche unternommen, beide Ergebnisse miteinander zu vergleichen, ohne den Größenunterschied der Fasern zu berücksichtigen. Dies führte zu der falschen Schlussfolgerung, die Wirkung der Keramikfasern sei ungefähr 10-mal stärker als die von Chrysotil-Asbest.

4.5 Kumulative Exposition gegenüber Cristobalit und Keramikfasern

In der MTD-Studie (MTD, Maximum Tolerated Dose) war eine Gruppe gegenüber sog. „After Use“ (gebrauchten) Keramikfasern exponiert worden, die aus den Vorräten aus RCF 1 zubereitet und solange erhitzt wurden, bis sich die Glasstruktur auflöste. Dadurch lag ein Gehalt von 27 % Cristobalit, einer Form von kristallinem Quarz, vor. Dieser Prozess kommt teilweise in der Auskleidung von thermisch hoch belasteten Öfen vor, so dass Beschäftigte beim Wechsel der Auskleidung des Ofens sowohl Faserstaub als auch Cristobalit ausgesetzt werden können. Daher sollten Art und Ausmaß der Erkrank-

ung, die eine solche Exposition bei Ratten hervorrufen könnte, bestimmt werden.

Überraschenderweise zeigten Ratten nach einer 24-monatigen Exposition gegenüber dem oben beschriebenen entglasenden Material nur sehr begrenzt Fibrose und keine Erhöhung der Tumorfälle. Dies war ein erfreuliches, wenn auch schwer verständliches Ergebnis, da die Tiere gegenüber zwei Modifikationen eines Fasertyps exponiert worden waren, die sich theoretisch synergistisch verhalten könnten und einen dramatischen Anstieg an Tumoren und Fibrose hätten hervorrufen können.

Weitere Analysen zeigten mehrere Gründe, die das Fehlen einer signifikanten Wirkung erklären könnten:

- Die Auflösung der Glasstruktur (Kristallisation) könnte bewirken, dass die Fasern zerbrechlicher werden, leicht in kleinere Teile zerfallen und somit einfacher aus der Lunge abtransportiert werden.
- Die meisten Kristalle bilden sich möglicherweise im Inneren der Fasern und haben dadurch keinen direkten Kontakt zum Gewebe.
- Der sich aus der Auflösung der Glasstruktur ergebende Cristobalit war nicht die biologisch aktive Modifikation, sondern eine mit Aluminium dotierte β -Form.

5 Risikobewertung

Die obigen Ergebnisse und die unterschiedliche natürliche Lebenserwartung von Ratten und Menschen deuteten darauf hin, dass eine ausführlichere Risikobewertung nötig war. Eine entsprechende Analyse [16], die alle erhältlichen Informationen berücksichtigte, wurde in einem Computermodell durchgeführt, dem eine Reihe konservativer Hypothesen zu Grunde lag. In dieser quantitativen Risikobewertung wurde die zu erwartende zusätzliche Anzahl von Krebsfällen berechnet, die während der Lebenszeit von 30 000 Arbeitern in den Vereinigten Staaten, die bei Herstellung, Verarbeitung und beim Endverbraucher gegenüber Keramikfasern exponiert sind, zu erwarten sind. Unter der Annahme des gegenwärtigen Niveaus der Exposition gegenüber Keramikfasern und für den Fall, dass Atemschutzmasken, soweit erforderlich, benutzt werden, kamen die Verfasser zu der Schlussfolgerung, dass im Durchschnitt nicht ein einziger zusätzlicher Krebsfall in der gesamten Belegschaft auftreten würde.

Gingen die Verfasser von der Annahme aus, dass keine Atemschutzmasken von der Belegschaft verwendet wurden und auch das für diese Beschäftigtengruppe typische Rauchverhalten berücksichtigt wurde, so stieg die Zahl an potenziellen Krebsfällen in der Belegschaft nur um einen Fall. Es muss hier auch berücksichtigt werden, dass wahrscheinlich etwa 6 000 dieser 30 000 Arbeitnehmer an Krebs, der durch andere Ursachen hervorgerufen wird, sterben würden. Um diese Zahlen in einen Zusammenhang zu stellen: Die Arbeits- und Sicherheitsbehörde der Vereinigten Staaten (Occupational Safety and Health Administration – OSHA) schätzt im Allgemeinen ein Risiko dann als signifikant ein, wenn mehr als ein zusätzlicher Krankheitsfall pro 1 000 untersuchter Arbeitnehmer auftritt. Demzufolge ist das Risiko – selbst wenn man annimmt, dass Arbeiter keine Atemschutzmasken verwenden und rauchen – etwa eine Größenordnung geringer als das von der OSHA als signifikant eingeschätzte.

Vergleich von Chrysotil- und Keramikfaseraerosolen.

Fasertyp in den RCC-Versuchen	Durchschnittliche gravimetrische Konzentration in mg/m ³	Durchschnittliche Faserkonzentration (insgesamt) in Fasern/ml	Durchschnittliche geometrische Faserlänge im Aerosol in µm	Durchschnittlicher geometrischer Faserdurchmesser im Aerosol in µm
Chrysotil	10	10 000	1,2	0,08
RFC 1	30	234	15,9	0,82

6 Lungenbelastung als entscheidender Faktor

Die Fasergröße, einschließlich aller nicht faserigen Partikeln, die Biobeständigkeit der Fasern (sie steht in Beziehung zur chemischen Beschaffenheit und daher der Löslichkeit), die mechanische Beständigkeit der Fasern sowie die Dosis, der eine Person ausgesetzt ist, sind allesamt wichtige Faktoren, die bei der Bewertung eines wahrscheinlichen Gesundheitsrisikos durch den Umgang mit Fasern zu beachten sind.

Unter Berücksichtigung all dieser Faktoren kommt man zu dem umfassenden Urteil, dass die Lungenfaserbelastung von besonderer Wichtigkeit ist. Ist die Lungenbelastung aufgrund einer der oben genannten Gründe gering, so können weder Krebs noch Fibrose entstehen. Überschreitet die Lungenbelastung jedoch ein bestimmtes Maß, so entsteht ein Gesundheitsrisiko. Seit Jahren begegnet man der Exposition mit dem Vorsorgeprinzip, wonach es wichtig und nützlich ist, die Exposition zu minimieren oder zumindest zu reduzieren [17; 18].

7 Diskussion

Die sich aus den umfassenden, in den verschiedenen Mineralfaserindustrien durchgeführten epidemiologischen Studien ergebenden Daten haben bisher noch keinen Hinweis auf eine durch künstliche Mineralfasern hervorgerufene Krankheit ergeben. Die Erklärung hierfür könnte einfach darauf beruhen, dass die Betriebsbedingungen in diesen Industriezweigen niemals über einen längeren Zeitraum zu einer Exposition gegenüber ausreichend hohen Konzentrationen beständiger Fasern führen, die die Lungenbelastung so ansteigen zu lassen, dass ein irreversibler Effekt entstehen könnte. Maßnahmen hinsichtlich einer dieser Variablen beeinflussen direkt die kumulierte Fasermenge in der Lunge (Lungenbelastung). Dies gilt insbesondere für Produkte aus Fasern mit geringer Biobeständigkeit, die die Lungenbelastung verringern – vorausgesetzt, dass die Exposition bei Verwendung derartiger weniger biobeständiger Fasern nicht erhöht wird.

Alle gegenwärtig verfügbaren Daten zeigen, dass solche wenig biobeständigen Materialien keine Gesundheitsschäden beim Menschen hervorrufen. Außerdem sind Neuentwicklungen zur Verringerung der Biobeständigkeit, der Einatembarkeit der Fasern und der Faserexposition ein Schritt in die richtige Richtung. In Zukunft wird die Industrie weitere und noch leistungsfähigere Wärmedämmmaterialien bereitstellen, die nicht nur dem Gesundheitsschutz dienen, sondern auch zu einer Verringerung des Energieverbrauchs und damit in Zu-

sammenhang stehenden Auswirkungen auf die Umwelt führen.

Literatur

- [1] Pott, F.; Friedrichs, K.-H.: Tumoren der Ratte nach i. p. Injektion faserförmiger Stäube. *Naturwissenschaften* 59 (1972), S. 318.
- [2] Stanton, M. F.; Wrench, C.: Mechanisms of mesothelioma induction with asbestos and fibrous glass. *J. Natl. Cancer Inst.* 48 (1972), S. 797–821.
- [3] Stanton, M. F.; Loyard, M.; Tegeris, A.; Miller, E.; May, M.; Kent, E.: Carcinogenicity of fibrous glass: pleural response in relation to fiber dimension. *J. Natl. Cancer Inst.* 58 (1977), S. 587–603.
- [4] Davis, J. M. G.: Mineral fibre carcinogenesis: experimental data relating to the importance of fibre type, size, deposition, dissolution and migration. In: Bignon, J.; Peto, J.; Saracci, R. (Hrsg.): Non-occupational exposure to mineral fibres. IARC publication no. 90. S. 33–46. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 1989.
- [5] Murai, Y.; Kitagawa, M.; Matsui, K.; Koizumi, F.; Miwa: An asbestos fiber analysis in nine lung cancer cases with high asbestos exposure. *Arch. Environ. Health* 50 (1995), S. 320–325.
- [6] Murai, Y.; Kitagawa, M.; Hiraoka, T.: Asbestos body formation in the human lung: distinctions, by type and size. *Arch. Environ. Health* (1995), S. 5019–5025.
- [7] Churg, A.; Wiggs, B.: Fiber size and number in amphibole asbestos-induced mesothelioma. *Am. J. Pathol.* 115 (1984), S. 437–442.
- [8] Churg, A.; Wright, J. L.; Vedral, S.: Fiber burden and patterns of asbestos-related disease in chrysotile miners and millers. *Am. Rev. Respir. Dis.* 148 (1993), S. 25–31.
- [9] Smith, D. M.; Ortiz, L. W.; Archuleta, R. F.; Johnson, N. F.: Long-term health effects in hamsters and rats exposed chronically to man-made vitreous fibers. *Ann. Occup. Hyg.* 31 (1987), S. 731–754.
- [10] Bunn, W. B.; Bender, J. R.; Hesterberg, T. W.; Chase, G. R.; Konzen, J. L.: Recent studies of man-made vitreous fibers, chronic animal inhalation studies. *J. Occup. Med.* 35 (1993) Nr. 2.
- [11] Brown, R. C.; Hoskins, J. A.; Glass, L. R.: The in vivo biological activity of ceramic fibres. *Ann. Occup. Hyg.* 39 (1995) Nr. 5, S. 705–714.
- [12] Richtlinie 97/69/EG der Kommission vom 5. Dezember 1997 zur dreiundzwanzigsten Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt (Text von Bedeutung für den EWR). ABL EG Nr. L 343 vom 13.12.1997, S. 19–24.
- [13] Bernstein, D. M.; Morscheidt, C.; Tiesler, H.; Grimm, H. G.; Thevenaz, P.; Teichert, U.: The evaluation of the biopersistence of commercial and experimental fibers following inhalation. *Inhal. Toxicol.* 7 (1995), S. 1031–1058.
- [14] Bernstein, D. M.; Morscheidt, C.; Grimm, H. G.; Thevenaz, P.; Teichert, U.: The evaluation of the soluble fibers using the inhalation biopersistence model, a nine-fiber comparison. *Inhal. Toxicol.* 8 (1996), S. 345–385.
- [15] Brown, R. C.; Sébastien, P.; Bellmann, B.; Muhle, H.: Particle contamination in experimental fibre preparations. *Inhal. Toxicol.* 12, Supplement 3, S. 99–107.
- [16] Moolgavkar, S. H.; Luebeck, E. G.; Turim, J.; Hanna, L.: Quantitative assessment of the risk of lung cancer associated with occupational exposure to refractory ceramic fibres. *Risk Analysis* 19 (1999) Nr. 4.
- [17] Maxim, L. D.; Allshouse, J. N.; Deadman, J. E.; Kleck, Ch.; Kostka, M.; Webster, D.; Class, P.; Sébastien, P.: CARE – A European programme for monitoring and reducing refractory ceramic fibre dust at the workplace: Initial results. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 58 (1998) Nr. 3, S. 97–103.
- [18] Class, P.; Deghilage, P.; Brown, R. C.: Dustiness of different high temperature insulation wools and refractory ceramic fibres. *Ann. Occup. Hyg.* (zur Veröffentlichung angenommen).